

Simo Paju

Betonimateriaalien, valuajankohdan sekä olosuhteiden vaikutus betonirakenteisten holvien kosteuskäyttäytymiseen.

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Mestarityö

14.11.2016

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Simo Paju Betonimateriaalien, valuajankohdan sekä olosuhteiden vaikutus betonirakenteisten holvien kosteuskäyttäytymiseen. 31 sivua + 2 liitettä 14.11.2016
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennusalan työnjohto
Suuntautumisvaihtoehto	Talonrakennustekniikka
Ohjaaja(t)	Työpäällikkö Mika Paju Lehtori Mervi Toivonen
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää asuinrakennustyömaalla tehtävien märkätilojen lattioiden pintabetonoinnin kuivumisajat kahdella eri betonilaadulla ja selvittää, millä kuivatusmenetelmillä saadaan betonin kuivumisaikaa lyhennettyä. Työn tavoitteena oli tehdä vertailu kahdesta eri työmaalla käytetystä betonilaadusta ja todeta, oliko betonilaadun vaihdolla aikataulullista tai taloudellista hyötyä. Tämän opinnäytetyön pohjalta tullaan yritykselle laatimaan vertailu kahden betonilaadun välisistä tuloksista ja ohjeistus, kuinka saadaan betonin kuivumisaikaa lyhennettyä.</p> <p>Työmaalla valettavien pintabetonilattioiden merkitys kustannuksiin ja aikatauluun on suuri rakennusprojekteissa, koska pinnoitettavuusajankohta voi venyä huonon kuivumisolosuhteen seurauksena. Tämän takia pintabetonityöt vaativat erityistä tarkkaavaisuutta sisävalmistustöiden valvojalta ennen betonityön alkamista, sen aikana ja jälkeen. Hyvään kuivumisnopeuteen päästään varmistamalla valettavan pintabetonin riittävän hyvät valuolosuhteet ja valitsemalla valun jälkeen oikea kuivatusmenetelmä sekä varmistettava kuivatuksen aloitus. Valvojan tulee huolehtia siitä, että nämä asiat toteutuvat, kun betonointityöt suoritetaan.</p> <p>Tutkimustyö aloitettiin tutustumalla työmaalla käytettyihin betonilaatuihin, tutustumalla aiheesta löytyviin kirjallisiin teoksiin sekä tekemällä haastatteluja yrityksen työntekijöille. Kirjallisten teosten ja haastattelujen perusteella löydettiin ne asiat, jotka vaikuttavat aikataulullisesti negatiivisesti betonin kuivumiseen. Tyypillisimmät betoninkuivumista pidentävät tekijät ovat puutteelliset betonointi olosuhteet, vääränlaiset tai puutteelliset kuivatusmenetelmät tai betonin kastuminen jälkeensä.</p>	
Avainsanat	betoni, kuivuminen, kosteuden hallinta

Author(s) Title Number of Pages Date	Simo Paju The effect of different concretes, casting date and conditions with the moisture behavior of concrete vaults. 31 pages + 2 appendices 14 November 2016
Degree	Bachelor of Construction Site Management
Degree Programme	Construction Site Management
Specialisation option	House Building Site Management
Instructor(s)	Mika Paju, Project Manager Mervi Toivonen, Senior Lecturer
<p>This thesis analyses two different concretes in terms of drying times and aims to determine the best drying method for concrete on building site. The main goal was to conduct comparison between the two different concretes and to determine their benefits in term of time consumption and cost. Based on this bachelor thesis, a summary of the comparison between the two different concretes will be produced, as well as guidelines for reducing the drying time of concrete.</p> <p>Concrete works done on building sites have great effect on costs and timetable in building projects, because bad drying conditions may delay the coating phase of concrete. Thus, concrete works need to be paid particular attention by the supervisor before, during and after the work. To optimize drying time, good casting conditions, correct drying method and starting time need to be ensured.</p> <p>This study was initiated by familiarizing with related and by interviewing employees of the company as well as by studying concrete types used on building site. Based on the collected data, it could be determined which factors have a negative effect on the drying of concrete. Inadequate casting conditions, wrong or inadequate drying method or concrete being subjected to moisture are typical reasons which extend the drying of concrete.</p>	
Keywords	concrete, drying, moisture control

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Opinnäytetyön tavoite	2
2.1	Rajaukset	2
2.2	Tutkimuskysymykset	2
3	Betoniholvin rakenne	2
3.1	Betonin rakenne	2
3.2	Betonin kuivumisprosessi	3
3.3	Holvien betonityypit	4
4	Holvien kuivatus- ja kosteusmittausmenetelmät	4
4.1	Kuivumisnopeuteen vaikuttaminen	4
4.1.1	Suunnittelu ja ennakointi	5
4.1.2	Ilmankosteuden ja lämpötilan vaikutus kuivumisnopeuteen	6
4.1.3	Kuivumista edistävät toimenpiteet	7
4.2	Betonin kosteus ja sen mittaaminen	9
4.2.1	Betonin rakennekosteus	10
4.2.2	Pintakosteudenosoittimet	11
4.2.3	Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen porareikämenetelmällä	13
4.2.4	Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen näytepalamenetelmällä	15
5	Betonin kuivumisen tutkiminen työmaalla	17
5.1	Olosuhteiden seuraaminen työmaalla	17
5.2	Työmaalla käytetyt betonit ja kustannuksien vertailu	18
5.2.1	C25/30 NP	18
5.2.2	Fescon lattiabetoni LB7	19
5.3	Työmaalla käytetyt kuivatusmenetelmät ja kustannukset	19
5.4	Betonirakenteiden kosteusmittaukset	20
5.5	Kosteusmittaus taulukot ja ilmasto-olosuhteiden vertailut	20
5.5.1	Mittaustaulukot E183 ja E187	20
5.5.2	Mittaustaulukot F224	22
5.5.3	Mittaustaulukot G294	23
5.5.4	Ilmasto-olosuhteiden vertailut	23
6	Betonin kuivumisen tulokset	24

6.1	Kuivumisajat työmaalla käytetyillä betonityypeillä	24
6.1.1	C25/30 NP	24
6.1.2	Fescon lattiabetoni LB7	25
6.2	Työssä havaitut betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät	27
7	Johtopäätökset	27
7.1	Betonilaadun valinta	27
7.2	Valuajankohta ja valuolosuhteet	28
7.3	Kuivatusmenetelmät	28
7.4	Betonin vaihdon hyödyt ja haitat tutkimuskohteessa	28
7.5	LB7 käyttäytyminen optimiolosuhteissa	29
8	Yhteenveto	30
	Lähteet	31
	Liitteet	
	Liite 1. Välipohja VP3	
	Liite 2. Välipohja VP9	

Lyhenteet

RH Suhteellinen kosteus

VP Välipohja

1 Johdanto

Betoniset holvirakenteet ovat hyvin yleiset suurissa rakennuksissa. Betonisiin holvirakenteisiin kuuluu paikallavalutöitä, mm. kylpyhuoneiden lattiakaadot. Itse betonointivaihe on usein kustannuksiltaan suuri ja riskialtis. Betonivalun, sen jälkihoidon tai kuivatuksen epäonnistumisella voi olla kustannuksiin ja aikatauluun vakavia seurauksia. Laiminlyönnit paikallavalettavien betonisten holvirakenteiden kuivatuksessa tai vääränlainen kuivatus voivat tuottaa pitkän aikatauluviiveen jonka seurauksena monen tahdistavan työn aloitus voi viivästyä. Tämän takia rakennustyömaalla tuleekin kiinnittää erityistä huomiota betonin oikeaan valintaan, ilmasto-olosuhteisiin ja kuivatusmenetelmiin sekä betonityön jälkihoidon valvontaan. Betonin kuivumisaika on osattava ottaa huomioon aikataulussa tahdistavana työvaiheena.

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Haahtela-rakennuttaminen Oy. Haahtela-rakennuttaminen Oy on erikoistunut rakennuttamiseen sekä projektin johtoon. Haahtela rakennuttaa tilaajalle rakennuksia ja toimitiloja, sekä toimii tilaajankonsulttina rakennusprojekteissa. [1.]

Haahtela-rakennuttaminen Oy kuuluu vuonna 1975 perustettuun Haahtela-yhtiöihin. Haahtela-yhtiöt on konsulttiorganisaatio johon kuuluu rakennuttamisen lisäksi myös kiinteistö- ja rakentamistaloudentutkimiseen ja kehittämiseen keskittyvä Haahtela-kehitys Oy ja henkilöstöhallinnan palveluja tuottava Haahtela HR Oy. Haahtela-konsernilla on Suomessa johtava asema rakentamistalouden ja kiinteistöhallinnan järjestelmien ja palveluiden tuottajana. [1.]

Konsernin emoyhtiönä toimii Haahtela Oy, jonka liikevaihto oli noin 15,6 miljoona euroa vuonna 2013, sekä yhtiöiden palveluksessa oli noin 140 henkilöä samana vuonna [1].

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa Haahtela-rakennuttaminen Oy:n käyttöön ohje rakennustyömaalla tehtävien paikallavaluholvien betoninmassan valinnasta ja kuivumisaikaa edistävien tekijöiden valinnasta. Työssä on myös tarkoitus tehdä selvä vertailu uuden betoninmassan käytöstä verrattuna jo aiemmin käytettyyn betoninmassaan. Ohjeen on tarkoitus tulla työmaiden käyttöön, joissa sisätyövalvojat voivat ennen huoneistojen märkätilojen betonointitöiden alkua lukea ohjeen läpi ja käyttää siinä mainittuja menetelmiä ja betonimassoja. Ohjeella valvoja pystyy nopeasti ja vaivattomasti

tarkastamaan, mitä betonimassoja tulisi käyttää työssä ja kuinka he pystyvät edistämään betonin kuivumista.

2 Opinnäytetyön tavoite

2.1 Rajaukset

Paikallavalettavia betonisia holvirakennetyyppejä on monia erilaisia. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan vain asuinkerrostalojen märkätiloissa paikallavalubetonin ja kuivatusmenetelmien valintaa ja sen taloudellista sekä aikataulullista vaikutusta. Työssä verrataan uuden ja aiemmin käytössä olleen betonilaadun kosteuden kehittymistä aikataulu näkökulmasta, jolloin saadaan tietää, oliko uuden betonilaadun valinta hyödyllistä ja tuleeko sitä käyttää jatkossa. Tässä opinnäytetyössä käydään myös läpi betonin kosteudenkehittyminen ja menetelmät sen nopeuttamiseksi.

2.2 Tutkimuskysymykset

Tämän tutkimuksen kysymykset liittyvät uuden betonimassan ja oikean kuivatusmenetelmän. Tutkimuksessa selvitetään, mitä hyötyjä tai haittoja uudella betonimassalla on, pystyttiinkö uudella nopeammin kuivuvalla betonilla säästämään kuivumisajoissa ja siihen vaikuttavissa kustannuksissa. Lisäksi selvitetään, kuinka uusi betoni kuivuu ilman kuivatusta sekä lähelle täydellistä kuivumista vaativassa olosuhteessa ja verrataan siitä saatua tietoa jo aiemmin käytetyn betonin kuivumiseen.

3 Betoniholvin rakenne

3.1 Betonin rakenne

Betoni on keinotekoinen kivi. Betonissa veden ja sementin välillä tapahtuu kemiallinen reaktio, hydrataatio. Hydrataation lopputuotteena on sementtiliima eli sementtikivi, joka sitoo kiviainesrakeet yhteen muodostaen lujan kokonaisuuden. Betonin pääraaka-aineet ovat vesi, kiviaines ja sementti. Betonissa käytetään myös usein lisä- ja seosai-

neita, esim. betonin työstettävyyden lisäämiseksi valuaikana tai ominaisuuksien parantamiseksi. Valituilla lisäaineilla ja niiden määrän suhteutuksella on tärkeä merkitys betonin kaikkiin ominaisuuksiin. [2, s. 31.]

3.2 Betonin kuivumisprosessi

Useimmat sisätiloihin rajoittuvat betonirakenteet pinnoitetaan tai päällystetään jollakin toisella materiaalilla, esimerkiksi vedeneristyksen vaativalla keraamisilla laatoilla, muovimatolla tai parketilla. Ennen kuin pinnoitus- tai päällystystyöt voidaan aloittaa, tulee betonirakenteen kuivua päällystemateriaalikohtaisen kosteusraja-arvon alapuolelle. Jos betonirakenne päällystetään liian aikaisessa vaiheessa, betonin ollessa liian kostea, voi seurauksena olla kosteusvaurio pinnoitteen ja betonin välillä. Tällaisia vaurioita ovat mm. päällysteen irtoaminen, värjäytyminen, hajuhaitta sekä terveydelle haitalliset mikrobit ja emissiot. [2, s. 432.]

Betonin hydrataatioreaktiossa eli kovettumisreaktiossa betoniin sitoutuu kemiallisesti vettä. Tässä kovettumisreaktiossa betoniin sitoutunut vesi ei pysty normaaliolosuhteissa poistumaan betonista. Hydrataatioreaktio on alussa nopeinta ja hidastuu ajan kuluessa. Täydellisessä kovettumisreaktiossa kemiallisesti sitoutuneen veden määrä on noin 25 paino-% betoniin sekoitetun sementin määrästä. [2, s. 432.]

Betonin seosvedestä vain osa kuluu betonin hydrataatioon, jolloin betoniin jää paljon vapaata, haihtumiskykyistä vettä. Tämä vapaa vesi sitoutuu betonin huokosrakenteisiin fysikaalisesti siten, että betonin pyrkiessä tasapainokosteuteen ympäristön kanssa osa vedestä poistuu ympäristöön. Betonin kuivumista tapahtuu niin kauan, kunnes sen huokoisten ilmatilan suhteellinen kosteus on sama kuin sen ympäröivän ilman suhteellinen kosteus. [2, s. 432.]

Betonin kuivuminen on riippuvainen sen haihtumismahdollisuuksista. Veden haihtumisen johdosta pintakerrosten kosteus pienenee. Tämän seurauksena kosteutta siirtyy betonin sisältä pintaan päin. Pinta kuivuu, kun sinne siirtyy vähemmän kosteutta kuin sitä haihtuu. Kun kuivuminen siirtyy syvemmälle betoniin, on kuivuminen ensi sijassa riippuvainen betonin kapillaarijohtumisesta ja diffuusiosta. Kapillaarisen siirtymisen edellytyksenä on yhtenäinen vedelle täyttynyt huokosverkosto. Hydrataation edetessä kapillaarihuokokset alkavat vähitellen tulla ilmatäytteiseksi, jolloin huokosverkosto kat-

keaa. Tämän jälkeen kosteuden siirtyminen betonissa tapahtuu pääasiassa diffuusion kautta. [2, s. 433.]

Diffuusiolla kosteuden siirtyminen perustuu huokoisen materiaalin eri osissa vallitseviin eri suuriin vesihöyryn osapaineisiin, jotka pyrkivät tasoittumaan. Tässä kosteus siirtyy suuremmasta vesihöyryn osapaineesta pienempään päin. Kun betonin pinnan huokosissa vesihöyryn osapaine laskee kosteuden haihtuessa ilmaan, syvemmältä rakenteesta vesihöyryä diffusoituu rakenteen pintaan, josta se edelleen haihtuu. Diffuusiolla siirtyy huomattavasti pienempiä kosteusmääriä kuin kapillaarisesti. Kuivumisnopeus pienenee huomattavasti kapillaarisen siirtymisen loputtua. [2, s. 433.]

Betoni on huokoinen materiaali. Se mahdollistaa sen, että betoni pystyy luovuttamaan itsestään kosteutta ympäristöön tai vastaanottamaan myös kosteutta. Betonin pyrkiesään tasapainoon ympäristön kosteuden kanssa, betoni voi vastaanottaa ilman kosteutta. Merkittävämpi tekijä betonin kuivumisessa on kuitenkin sen kastuminen, sillä betonilla on myös kyky imeä vettä. Rakennusaikana betonirakenteet lähes poikkeuksetta joutuvat tekemiseen veden kanssa, esim. märkien työvaiheiden ja vesivahinkojen yhteydessä. [2, s. 433.]

3.3 Holvien betonityypit

Eri betonityyppejä ovat mm. rakennebetoni, lattiabetoni ja erikoisbetonit. Erikoisbetoneihin kuuluvat mm. korkealujuusbetonit (KL betoni), nopeammin päällystettävät betonit (NP betoni) ja itsestivistyvät lattiabetonit (IT betoni). Eri betonityyppejä saadaan lisäämällä niihin lisäaineita tai käyttämällä erikoisementtejä. Oikea betonityyppi tulee valita työkohteen ja käyttötarkoituksen mukaisesti.

4 Holvien kuivatus ja kosteusmittaus menetelmät

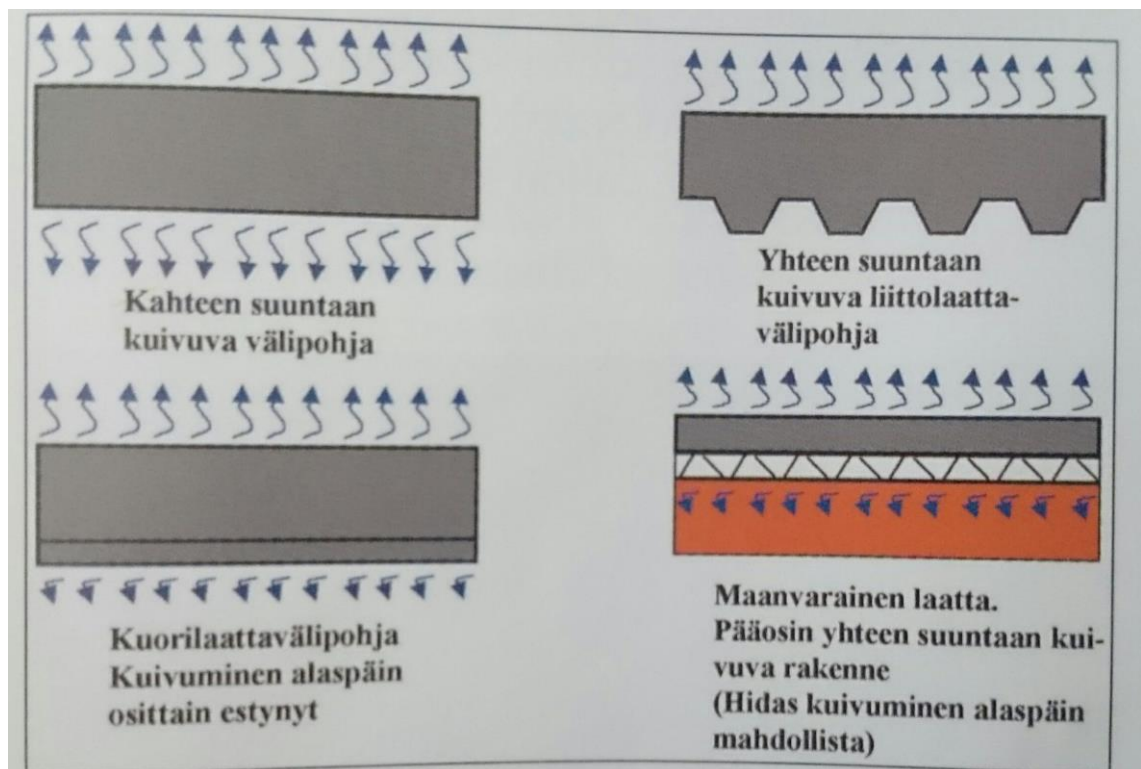
4.1 Kuivumisnopeuteen vaikuttaminen

Tässä luvussa käydään läpi märkätilassa paikallavaletun holvirakenteen kuivumisnopeuteen vaikuttavia tekijöitä.

4.1.1 Suunnittelu ja ennakointi

Työnjohdon tulee ennen paikallavalutöitä suunnitella betonin valinta ja kuivatusmenetelmät hyvissä ajoin. Oikealla betonin valinnalla ja kuivatusmenetelmällä pystytään säästämään aikaa ja rahaa huomattavasti. Varsinkin eri vuodenaikoina kannattaa kiinnittää huomiota erityisesti kuivumisolosuhteisiin, esimerkiksi ilman suhteelliseen kosteuteen ja lämpötilaan.

Työnjohdon tulee hyvissä ajoin varmistaa työmaalla valukohteen suojaus ja että lisäkosteuden betonirakenteeseen on estetty. Näihin varmistaviin töihin kuuluu mm. rakennusaikaisten aukkojen suojaus. Tämä tarkoittaa sitä, että ikkunat on asennettu tai ikkuna-aukoissa on asianmukaiset suojaukset. Vesikaton tulee olla tiivis tai vesi tulee ohjata pois hallitusti, ettei se pääse valettaville alueille tai jo valetuille alueelle. Tulee myös varmistaa, että ilmankosteus on valettavan rakenteen ympärillä alhainen.



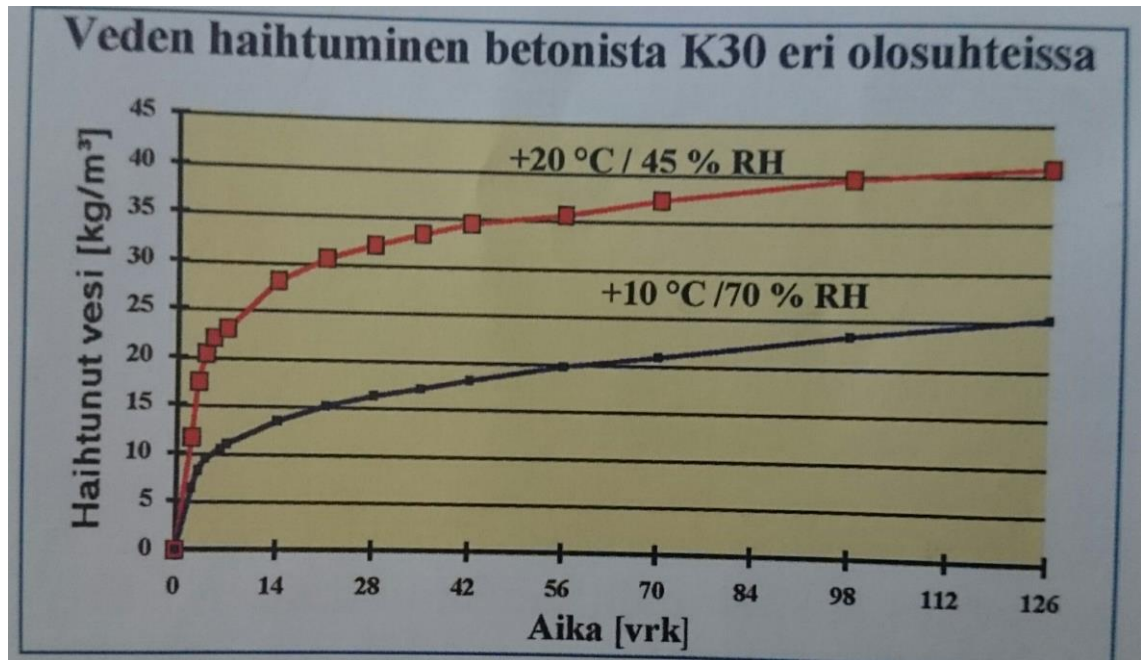
Kuva 1. Betonirakenteiden vaikutukset veden haihtumiseen. [3, s. 35.]

4.1.2 Ilmankosteuden ja lämpötilan vaikutus kuivumisnopeuteen

Työmaaolosuhteilla on suuri vaikutus betonin kuivumisnopeuteen. Lämpötila ja ympäristön suhteellinen kosteus sekä ilmavirrat vaikuttavat olennaisesti siihen, miten nopeasti betonirakenteen pinnalla oleva kosteus haihtuu ja rakenteen sisällä oleva kosteus siirtyy pintaan. Olosuhteilla on vaikutus myös betonin sitoutumiskuivumiseen. Korkeampi betonin lämpötila nopeuttaa ja tekee sementin hydratisoitumisesta täydellisempää, jolloin kuivuminen nopeutuu. [3, s. 35.]

Normaaleilla betoneilla siirtymiskuivumisen, eli haihtumiskuivumisen merkitys on suurempi kuin sitoutumiskuivumisen. Ilman suhteellinen kosteus vaikuttaa siirtymiskuivumiseen toisinpäin kuin sitoutumiskuivumiseen. Ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden ollessa alhaisempi, on rakenteen sisäosan ja pinnan kosteusero suurempi, jolloin kosteutta siirtävä voima on myös suurempi. Suhteellisen kosteuden laskiessa vesihöyryn läpäisevyys laskee jyrkästi betonissa, jolloin kosteuden siirtyminen pintaosista hidastuu. Betonin kuivumisen kannalta optimaalinen RH % on 50. [3, s. 35.]

Ilmankosteuden lisäksi lämpötilalla on merkittävä vaikutus betonin kuivumiseen. Lämpötilan nostaminen kasvattaa betonin huokosrakenteissa olevan vesihöyryn osapainetta, jolloin kosteutta siirtävät voimat kasvavat. Betonirakenteen riittävän nopea kuivuminen edellyttää vähintään +20°C:n lämpötilaa ja lämpötilan noustessa +25–30°C:een kuivuminen nopeutuu merkittävästi. Korkeampaa lämpötilaa käytetään lähinnä vesivauriokohteiden pikakuivatuksessa, koska nuoressa betonissa korkeat lämpötilat voivat aiheuttaa halkeilua ja lujuudenkatoa. [3, s. 35.]



Kuva 2. Ympäristön suhteellisen kosteuden (RH) ja lämpötilan vaikutus betonista K30 haihtuvan veden määrään. [3, s. 35.]

4.1.3 Kuivumista edistävät toimenpiteet

Yleinen tapa nopeuttaa betonin kuivumisaikoja on käyttää nopeasti kuivuvia betonilaa-
tuja. Betonin kuivumisaikana kuivumista voidaan edistää luomalla rakenteen ympärille
hyvät kuivumisolosuhteet. Tässä toimenpiteessä nostetaan ilman lämpötila vähintään
+20°C:een ja lasketaan ilman suhteellinen kosteus alle 50%:iin. Betonirakenteen pinta
on oltava puhdas ja paljas, että päästään parhaimpaan kuivumistulokseen. Tämä tar-
koittaa sitä, että pinnan tulee olla hiottu ja pölytön. Kuivumisaikana on pidettävä huolta,
ettei betonirakenne pääse kastumaan, koska mitä myöhemmässä vaiheessa rakenne
kastuu, sitä enemmän siihen imeytyy vettä, ja hydrataatio on vähentynyt siten, että se
edistää kuivumista vain vähän. Tehokas tapa nopeuttaa kuivumista on nostaa betoni-
rakenteen lämpötilaa. [3, s. 36.]



Kuva 3. Betonirakenteen lämpötilaa nostaessa käytetään lämmityskaapelia, joka asennetaan ennen valua valettavalle alueelle. [4.]

Ilman suhteellinen kosteus voidaan alentaa adsorptiokuivaimella. Adsorptiokuivaimen toimintaperiaate perustuu laitteen puhaltimen, keraamisen silikageeli-roottorin ja lämmitysvastusten yhteistoimintaan. Laite erottelee kosteuden vesihöyryksi, joka ohjataan pois kuivattavasta tilasta letkulla. Kuiva ilma palautetaan takaisin tilaan. [5.]



Kuva 4. Malli adsorptiokuivaimesta. [6.]

Toinen tapa ilman suhteellisen kosteuden poistamiseen on käyttää kondenssikuivainta. Kuivaimen toimintaperiaatteena on kierrättää huoneilmaa kuivaimen läpi. Kuivaimessa kostea huoneilma osuu höyrystimeen, jolloin ilman lämpötila laskee kostepisteeseen ja kosteus muuttuu vedeksi. Vesi valuu tiivistyessään säiliöön ja kuiva, kylmä ilma jatkaa lauhduttimeen, jossa ilma lämpenee ja ohjautuu takaisin huonetilaan keräämään uutta kosteutta. [7.]



Kuva 5. Kondenssikuivain. [7.]



Kuva 6. Rakennuslämmittimen tarkoitus on puhalttaa lämmintä ilmaa ympäristöön. Kuvassa tavanomainen rakennuspuhallin. [8.]

4.2 Betonin kosteus ja sen mittaaminen

Betonirakenteiden kosteusmittauksia tehdään rakennusaikana ja valmiista rakennuksista. Rakennustyömaalla kosteusmittauksia tehdään vain lähinnä niistä betonirakenteista, jotka pinnoitetaan tai päällystetään. Ennen päällystys- tai pinnoitustyöhön aloitusta alustana olevan betonin tulee alittaa päällystemateriaalin, kiinnitysmassan tai pinnoitteen edellyttämä kosteusraja-arvo. Betonirakenteen kuivuminen on riippuvainen monesta eri tekijästä, jolloin riittävästä kuivumisesta ei voida varmistua muuten kuin

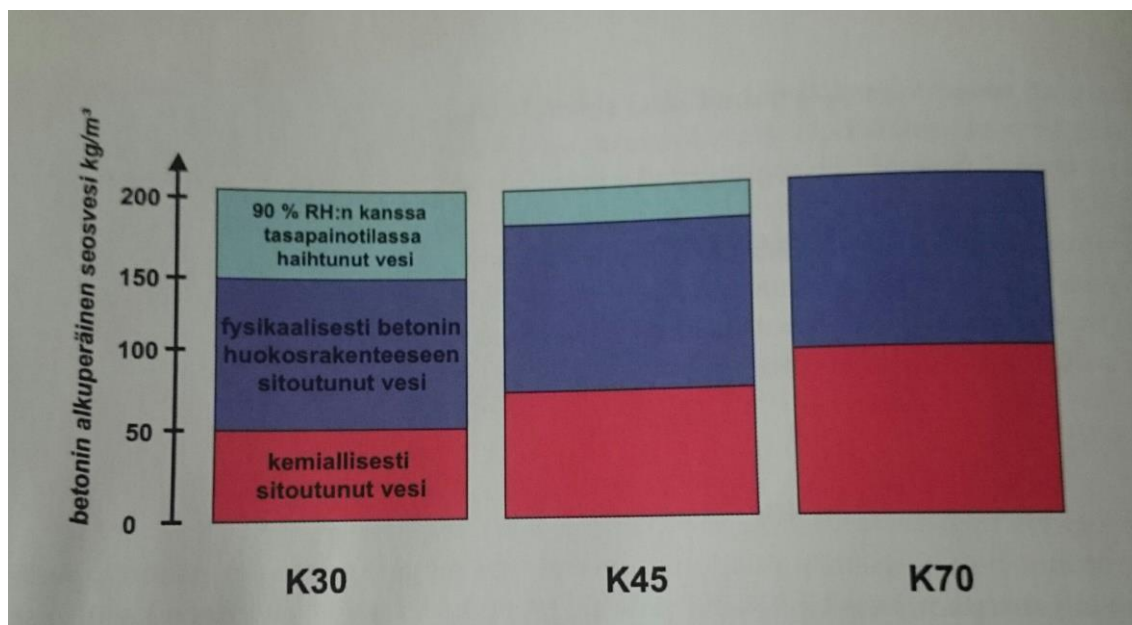
mittaamalla betonin kosteus. Betonin kosteusmittaustyö tulee suorittaa huolellisesti, sillä virheellinen mittaaminen voi johtaa turhaan odotteluun ja kosteusvaurioihin. Betonirakenteiden kuivuminen on hyvin tahdistava sisävalmistusvaiheessa. Tämän takia kosteusmittauksiin tulee ryhtyä hyvissä ajoin ennen päällystys- tai pinnoitustyön aloittamista. Lähinnä mittaustuloksilla voidaan seurata, kuivuuko rakenne suunnitellun aikataulun mukaisesti vai tarvitaanko lisäkuivatustoimenpiteitä. [3, s. 5.]

4.2.1 Betonin rakennekosteus

Veden tarkoitus betonissa on muodostaa sementin kanssa sementtiliima, joka sitoo kiviainekset toisiinsa. Veden tarkoitus on myös tehdä betonimassasta työstettävää. Kuitenkin vain osa betonissa käytetystä vedestä sitoutuu kemiallisesti reagoiessa sementin kanssa betonin kovettumisessa, joka on 20 painoprosenttia sementin massasta. Täydellisessä hydrataatiossa tämä painoprosentti on 25. [9, s. 13.]

Esimerkkinä voidaan käyttää normaalia lattiabetonia, jonka valmistamiseen käytetään 200kg/m^3 vettä ja 250 kg/m^3 sementtiä, alkuperäisestä vesimäärästä vain noin 50kg/m^3 sitoutuu kemiallisesti. Loput betoniin käytetystä vedestä, eli 150kg/m^3 sitoutuu betonin huokosrakenteeseen fysikaalisesti siten, että betonin pyrkiessä tasapainokosteuteen ympäristön kanssa osa vedestä haihtuu ympäristöön. [9, s. 13.]

Betonissa lähinnä vesisementtisuhde ja huokoisrakenne vaikuttavat siihen, miten betoni sitoo kosteutta. Kun verrataan kahta betonilaatua, joiden valmistamisessa käytetään erimäärä sementtiä, mutta vesimäärä pysyy samana, on kemiallisesti sitoutuneen veden määrä suurempi betonissa, jossa sementtimäärä on suurempi. Vastaavasti haihduttavan veden määrä on tällöin pienempi enemmän sementtiä käytetyssä betonissa. [9, s. 13–14.]



Kuva 7. Eri lujuusluokan betonien valmistusvaiheessa käytetyn vedenmäärän jakautuminen, kun betoni on kuivunut 90 %:n suhteelliseen kosteuteen. [9, s. 14.]

Osa betonin valmistamiseen käytetystä vedestä sitoutuu kemiallisesti betonin kovettuessa muutamassa päivässä. Huomioitava asia betonissa on se, että vaikka betoni olisikin kemiallisen sitoutumisen seurauksena saavuttanut loppulujuutensa, se voi silti olla hyvin kosteaa. Varsinaista kuivumista betonissa tapahtuu vasta silloin, kun fysikaalisesti sitoutunutta vettä haihtuu betonista. Kuivumista tapahtuu niin kauan, kunnes betonin huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus on päässyt tasapainoon sen ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden kanssa. [9, s. 14.]

4.2.2 Pintakosteudenosoittimet

Pintakosteudenosoittimilla pystytään selvittämään rakenteiden kosteustila ilman, että rakennetta tarvitsisi rikkoa. Pintakosteudenosoittimien toiminta perustuu mitattavan betonin vesipitoisuuden muuttuessa tapahtuviin materiaalin sähköisten ominaisuuksien muutoksiin. Pintakosteudenosoittimia on saatavilla monia erityyppisiä. Mittauslaitteisiin on useimmiten asetettu valmiiksi joidenkin materiaalien kosteuspitoisuus painoprosentteina. Toimintaperiaatteeltaan samanlaiset pintakosteudenosoittimet voivat antaa samasta kohdasta mitattaessa eri lukuarvoja. Mittalaitteiden toimintaperiaatteista sekä betonin ominaisuuksien vaihtelusta johtuen mittaustuloksia voidaan pitää vain suuntaa-antavina. [3, s. 6.]



Kuva 8. Pintakosteudenosoitin pallokärjellä. [10.]



Kuva 9. Pintakosteudenosoitin. [11.]

Pintakosteudenosoittimia käyttäessä erot betonilaatujen välillä voivat vaikuttaa merkittävästi mittaustulokseen. Betonin lisäaineista ja sementtimäärästä johtuen betonin sähköiset ominaisuudet muuttuvat, mikä vaikuttaa olennaisesti mittalaitteen antamaan kosteuslukemaan. Sementtimäärän ollessa suurempi betonissa tai mitä alhaisempi vesi-sementti suhde on, sitä paremmin betoni johtaa sähköä. Tästä johtuen pintakosteudenosoitin antaa korkeampia kosteuslukemia rakenteesta. Nopeasti kuivuvissa betoneissa, jossa kuivuminen perustuu betonin suurempaan sementtimäärään, pintakosteudenosoitin voi antaa hyvinkin korkeita lukemia, vaikka betoni olisikin todellisuudessa kuivaa. Myös betonirakenteessa pinnan läheisyydessä oleva tekniikka tai raudoitus voi vaikuttaa mittaustulokseen. [3, s. 6.]

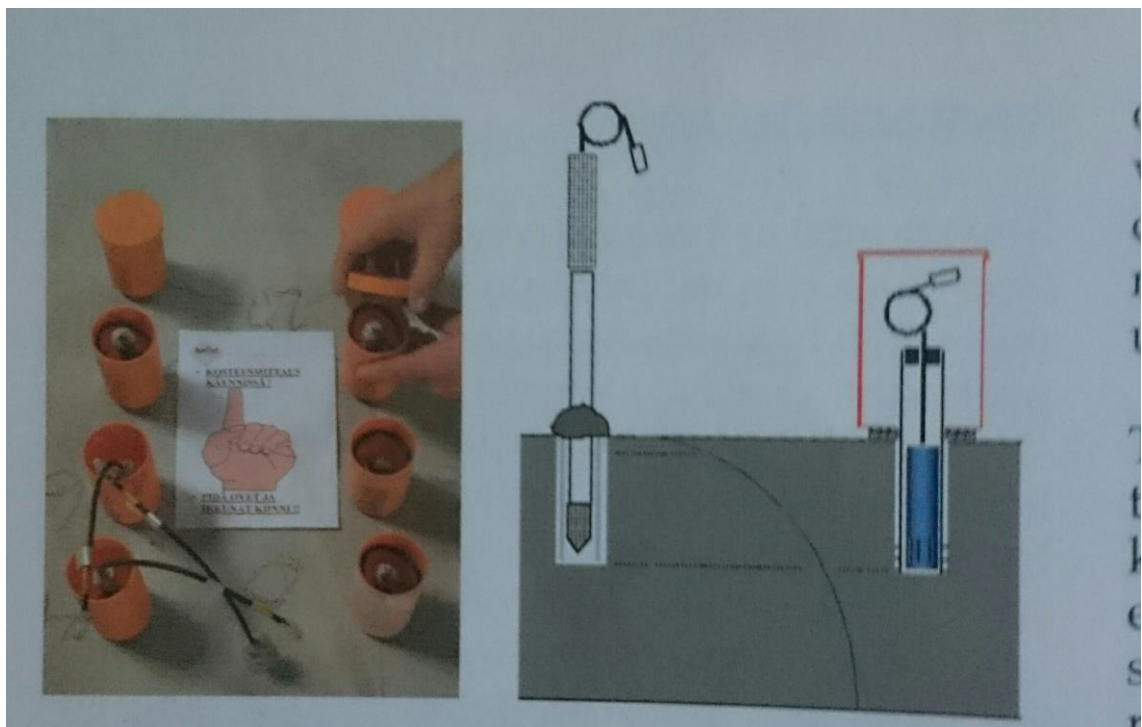
Pintakosteudenosoittajia määrittää vain rakenteen pintaosien ominaisuuksia, eivätkä ne pysty havainnoimaan syvemmillä rakenteessa olevaa kosteutta. Ne eivät myöskään ilmoita, että missä rakennekerroksessa kosteutta on. Pintakosteusmittauksen

perusteella ei tule tehdä betonirakenteiden päällystettävyyttä päätöksiä, eikä sillä tule määrittää betonirakenteiden kuivatustarvetta. [3, s. 7.]

4.2.3 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä

Porareikämenetelmällä betonin suhteellinen kosteus (RH) mitataan betoniin poratusta reiästä. Poratusta reiästä kosteus asettuu tasapainoon ympäröivän materiaalin kanssa 3-7 vuorokauden kuluessa. Mittausreikä porataan betoniin siihen syvyyteen asti, josta halutaan mittaustulokset. Betonirakenteissa on kuitenkin suositeltavaa tehdä mittauksia eri syvyyksiltä. Päällystettävyyksmittauksissa mittaussyvyyteen vaikuttaa rakenneratkaisu, eli rakenteen paksuus ja kerroksellisuus. [3, s. 13.]

Porareikämenetelmässä reiät porataan kuivamenetelmällä, eli poratessa ei käytetä vettä joka imeytyisi rakenteeseen. Poratun reiän halkaisuja tulee olla muutaman millimetrin mittapään halkaisijaa suurempi. Betonin kosteuden mittauksissa suurilla porareillä tehdyillä mittauksilla päästään parhaimpiin mittatarkkuuksiin. [3, s. 13.]



Kuva 10. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus, jossa reikä on tiivistetty sivuilta putkella ja päältä kitillä. Mittapään ympärillä oleva asennussuoja suojaaa mittapäätä likaantumiselta ja kolhuilta, sekä tasaa ympäristön ja mittauspisteen lämpötilaeroja. [3, s. 14.]

Mittareikää poratessa tulee noudattaa varovaisuutta, ettei poraa sähkö- tai vesiputkiin. Mittausreikä ei saa vaurioittaa rakennetta. Porauksen jälkeen porattu reikä tulee puhdistaa huolellisesti porauspölystä, sillä puhdistamaton reikä voi antaa liian korkeita RH-arvoja. [3, s. 13.]

Mittausreikä tulee tiivistää puhdistamisen jälkeen, tiivistykseen käytetään yleensä kittiä tai muuta joustavaa massaa. Kun on kyseessä päällystettävyyssmittaus, asetetaan porattuun reikään putki, joka tulee reikä tiivistää sivuilta ja päältä. Putken pohja on avonainen, jolloin saadaan reiän pohjalla vallitseva kosteus, joka on samalla haluttu syvyys rakenteessa. Putkittamattomasta reiästä saadaan keskimääräinen kosteus koko reiän pituudelta. [3, s. 14.]

Mittapää voidaan asentaa reikään heti porauksen, puhdistamisen ja tiivistämisen jälkeen. Tällöin mittapää tasaantuu reiässä vaaditun tasaantumisajan, eli 3-7 vuorokautta. Mutta yleisemmin mittapää asennetaan reikään vasta mittauspäivänä. Mittapään tulee olla kalibroitu ja sen tulee olla tasaantunut ympäröiviin olosuhteisiin. Mittapään tulee olla reiässä tasaantumisajan, joka on noin 1-24 tuntia riippuen anturityypistä, mittapään kosteuskapasiteetista, betonin laadusta, betonin kosteudesta sekä halutusta mittauksen tarkkuudesta. Tasaantumisajan tarkoituksena on saavuttaa riittävä kosteustasapaino tarkkuus anturin ja betonin välillä. [3, s. 15.]



Kuva 11. Betonin lämpötilan ja RH:n lukeminen näyttölaitteella. [3, s. 15.]

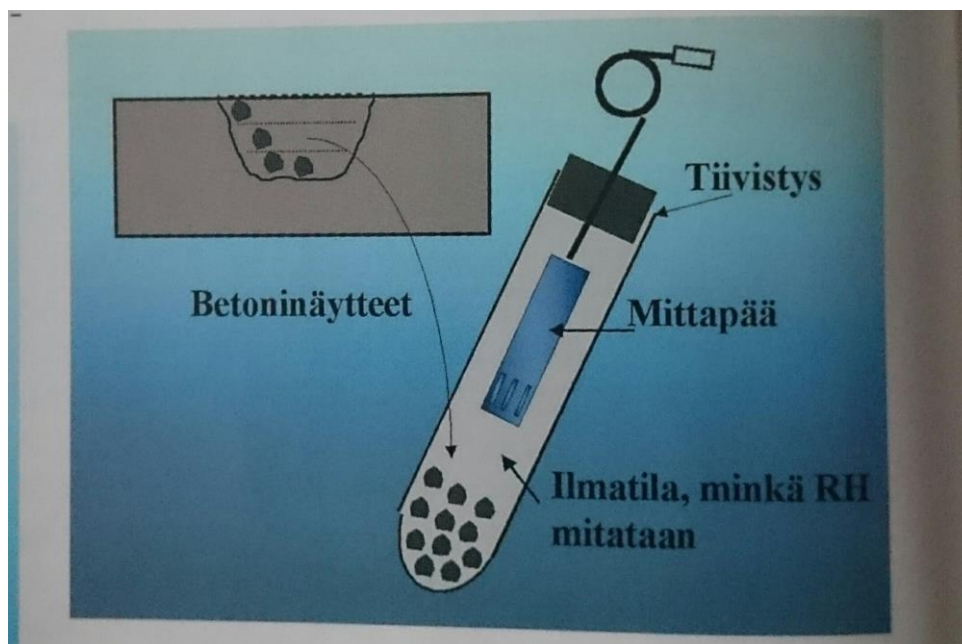
4.2.4 Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen näytepalamenetelmällä

Näytepalamenetelmä on nopea ja luotettavin menetelmä betonirakenteen suhteellisen kosteuden määrittämiseksi. Näytepalamenetelmää käytetään lähinnä tilanteissa, joissa olosuhteet mittauskohdassa ovat epävakaa tai betonin lämpötila on porareikämittaukselle selvästi liian alhainen tai liian korkea. Myös mittauksien saaminen näytepalamenetelmällä on nopeaa. [3, s. 17.]

Näytepalamenetelmässä mittauspisteessä betonirakenteeseen porataan poranterällä halkaisijaltaan noin 100...150 mm piiri. Reiät porataan haluttuun mittasyvyyteen asti. Piirin sisään jäänyt betoni poikataan irti, jolloin päästään näytteenottopintaan. Näytteenottopinnan syvyys tulee tarkistaa, pinnan tulisi olla noin 5 mm mittasyvyyttä ylempänä oleva pinta. Oikeasta mittasyvyydestä poikataan betonimurusia, jotka laitetaan välittömästi koeputken yhdessä kosteusmittapään kanssa. Murusten määrä tulee olla noin 1/3 koeputken tilavuudesta. Putkenpää tiivistetään vesihöyrytiiviiksi. Mittauksessa käytettävän mittapään tulee olla kosteuskapasiteetiltaan alhainen, eli mittapää ei saa sitoa

merkittäviä määriä kosteutta. Mittaajan tulee varmistaa mittapään varren tiiveys. [3, s. 17.]

Näytteenoton jälkeen koeputket siirretään $+20^{\circ}\text{C}$:n vakioämpötilaan tasaantumaan. Näytepalat tulee tasaantua vakioämpötilassa 2-12 tuntia, mittauksen tarkkuudesta riippuen. Näytteet tulee laittaa lämpöeristettyyn kuljetusastiaan siirron ajaksi, jolla minimoidaan suuret lämpövaihtelut. Esimerkiksi koeputken jäähtyminen tulee estää tavalla kosteuden tiivistymisriskin vuoksi. [3, s. 18.]



Kuva 12. Havainne kuva näytepalamenetelmästä. [3, s. 18.]

Tarkkuutta vaativissa päällystettävyyssmittauksissa tasaantumisaika tulee olla vähintään 6 tuntia ja erittäin tiivistä betonia mitatessa tasaantumisaika tulee olla pidempi. [3, s. 18.]

Tasaantumisen jälkeen luetaan sekä kosteusarvo, eli RH ja lämpötila. Tulokset kirjataan erilliseen taulukkoon sekä raporttiin. [3, s. 18.]

5 Betonin kuivumisen tutkiminen työmaalla

5.1 Olosuhteiden seuraaminen työmaalla

Työmaalla seurataan asuntojen märkätilojen paikallavalubetoniholvien kuivumisaikoja, sekä sen kautta myös kustannuksia. Kuivumisaikoja mitatessa tulee huomioida eri betonimassat ja käytetyt kuivumista edistävät tekijät. Märkätilojen betonivalun suhteellisen kosteuden tulee olla rakenteen paksuudesta riippuen esim. 7 cm mittasyvytydessä alle 90 RH %, 3 cm mittasyvytydessä alle 75 RH %. Rakenteen pinnan kosteuden tulee olla kuivempaa kuin syvemmällä betonissa, jotta päällystysmateriaali tarttuu betoniin. Nämä vaaditut lukemat saatuaan voidaan kyseisissä märkätiloissa aloittaa pinnoitus-työt. Kosteusmittaukset suoritettiin työmaalla näytepalamenetelmällä ja niitä pyrittiin ottamaan säännöllisin väliajoin, 1-2 viikon välein.

Työmaalla on pyritty aina pääsemään jokaisessa valussa maksimaaliseen kuivumisnopeuteen. Tämä saadaan, kun nostetaan kohteen lämpötila vähintään +20°C ja laskeaan ilman suhteellinen kosteus mahdollisimman lähelle 50 %. Työmaan on käytössä kondenssikuivaimia, adsorptiokuivaimia ja rakennuslämmittimiä. Myös on pyritty pitää kaikki talon julkisivussa olevat aukot suojattuna ja valetun märkätilan oviaukko suojattuna muovilla.

Jos tarkastelupisteissä on ollut havaittavissa joitakin kuivumista hidastavia tekijöitä, esimerkiksi betonivalun kastuminen, suojauksien pettäminen tai kuivatuskoneiden häiriöt, tarkastellaan näiden vaikutusta betonin kuivumisnopeuteen.

Paikallavalettu rakenne vaikuttaa myös olennaisesti betonin kuivumisnopeuteen. Tähän tutkielmaan valittiin neljä (4) märkätilaa joiden välipohjarakenteet ovat osittain kahteen suuntaan kuivuvia. Välipohjarakenteiden tunnuksukset ovat VP3 ja VP9 (liitteellä 1-2 rakennekuvat). Välipohjarakenteet eroavat toisistaan vain kallistusbetonin kerrospaksuudelta. Todellisen kallistusbetonoinnin paksuuden saa vain työkohteessa mitattaessa. Keskivahvuudeltaan kallistusbetonia valettiin märkätiloihin 170 mm, eikä tämän perusteella eri rakennetyypeillä ole suurta vaikutusta valettavan betonin paksuuteen.

5.2 Työmaalla käytetyt betonit ja kustannuksien vertailu

Työkohteessa on käytetty kahta (2) eri betonimassaa, C25/30 NP ja lattiabetoni LB7, märkätilojen paikallavaluholveissa. Työmaalla oli aiemmin todettu C25/30 NP betonin kuivumisaikojen olevan pitkiä ja betonimassa vaihdettiin LB7 lattiabetoniin, jolla on nopeampi kuivumisaika. Uudesta betonimassasta tukitaan kuivumisaika ja kuivatusmenetelmien tarpeellisuus, jotta päästäisiin lopputulokseen, että oliko betonimassan vaihto kannattavaa ja onko kannattavaa tulevilla hankkeilla käyttää uutta betonilaatua. LB7 betonimassaa tarkastellaan kahdessa eri olosuhteessa. Toisessa tarkastellaan betonin kuivumisen kehitystä ilman kuivumista edistäviä tekijöitä ja toisessa pyritään pääsemään lähelle parasta mahdollista kuivumisolosuhdetta. C25/30 NP betonin kuivumista tarkkaillaessa on pyritty pääsemään vain lähelle parasta kuivumisolosuhdetta.

C25/30 NP betonilla valetut märkätilat ja välipohjarakennetunnukset:

- E183, VP9
- E187, VP9

Lattiamassa LB7 valetut märkätilat ja välipohjarakennetunnukset:

- F224, VP3
- G294, VP3

5.2.1 C25/30 NP

Työkohteessa käytettiin alun perin C25/30 NP betonia paikallavalettavissa betoniholveissa. Kyseinen betonin rasitusluokaksi on määritetty X0 ja käyttöikäksi 50 vuotta. Käytetyn betonin lujuusluokka oli 30 MPa 150 mm:n kuutiokappaleella mitatessa. Notkeusluokka kyseisellä betonilla oli S2, eli notkea. Maksimi raekokona käytettiin #16. Betonissa käytettiin notkistinta ja polymeerikuitua 2kg/m³.

Hinta betonille oli annettu rakennetyypeittäin, sekä yleislisähinta kyseiselle NP betonille. Työssä tarkkailukohteissa oli rakennetyypit VP9, VP3 ja VP3.1, joista VP9 valettiin tällä betonilla.

Työkohteessa käytetyt hinnat rakennetyypeittäin (alv 0 %):

- VP3: 21,50 €/m²
- VP9: 72,00 €/m²
- NP betonin lisähinta: 38,18 €/m²

5.2.2 Fescon lattiabetoni LB7

Osassa työkohteen paikallavaluholvien betonitöissä käytettiin Fesconin lattiabetoni LB7. Fescon LB7 on erikoisementtisideaineinen, kemiallisesti kuivuva lattiabetoni kuiviin, kosteisiin ja märkätiloihin. Kyseisessä betonissa on nopea kuivuminen ja lujuudenkehitys 10-150 mm kerrospaksuuksille. LB7 on kuituvahvistettu betoni, jolla on hyvät työstettävyyssominaisuudet. Käyttökohteena betonille on annettu valut, joissa rakenne on saatava nopeasti käyttöön. [12.]

Käyttöohjeissa kerrotaan, että alustan suhteellinen kosteus tulee olla pienempi kuin 95 % ja lämpötila tulee olla yli +10°C. Betonin vedentarve on 3,0 litraa / 20 kg. Kyseinen sekoitussuhde on hyvin kriittinen, sillä liika vesimäärä betonissa hidastaa olennaisesti betonin kuivumista. Tuote on vedeneristettävissä n. 3-7 vuorokauden kuluttua valusta laboratorio olosuhteissa, jossa olosuhteet ovat optimaaliset, eli lämpötila +20°C ja ilman suhteellinen kosteus 50 %. [12.]

Fescon LB7:lle on annettu hinta työkohteessa pumpattuna 150 mm paksuudelle, johon kuluu betonimassaa 270 kg/m². Hintana työkohteessa käytettiin 109,40 €/m², sekä 150 mm paksuuden ylimenevästä betonista käytettiin lisähintaa 0,32 €/kg. [12.]

5.3 Työmaalla käytetyt kuivatusmenetelmät ja kustannukset

Työmaalla oli käytössä adsorptiokuivaimia sekä kondenssikuivaimia, joilla saatiin märkätilojen ilman suhteellista kosteutta pienemmäksi ja ilmanlämpötilaa korkeammaksi.

Taulukko 1. Kuivauskalusto hinnasto.

Kuivauskalusto hinnasto	päivä	kuukausi
	vuokra	vuokra
Kondenssikuivaimet		
Kosteudeneroitin 25-30 l/vrk, 230 V	5,00	130,00
Kosteudeneroitin 40-50 l/vrk, 230 V	5,50	145,00
Kosteudeneroitin 80 l/vrk, 230 V	6,00	155,00
Kosteudeneroitin Corroventa K2 säiliöllä, 230 V	7,00	154,00
Adsorptiokuivaimet		
Adsorptiokuivaaja 150-200 m ³ /h	9,95	238,68
Adsorptiokuivaaja 200-400 m ³ /h	11,99	287,64
Adsorptiokuivaaja 400-700 m ³ /h	38,51	924,12

5.4 Betonirakenteiden kosteusmittaukset

Kosteusmittauksia otettiin työkohteessa jokaisesta märkätilasta näytepalamenetelmällä, koska se on todettu hyvin varmaksi tavaksi ottaa mittauksia työmaalla. Kosteusmittauksia pyrittiin ottamaan säännöllisin väliajoin, jotta tiedetään, onko rakenne saavuttanut halutun suhteellisen kosteuden. Jos mittaukset näyttävät korkeita arvoja mittauspiiteellä, valvoja pystyy hyvissä ajoin reagoimaan ja hoitamaan olosuhteet paremmiksi työkohteessa. Kosteusmittaus taulukoista käy ilmi myös ilman suhteellinen kosteus sekä ilmanlämpötila, jotka vaikuttavat oleellisesti betonirakenteen kuivumiseen.

5.5 Kosteusmittaus taulukot ja ilmasto-olosuhteiden vertailut

5.5.1 Mittaustaulukot E183 ja E187

Taulukko 2. Kosteusmittaustaulukko 26.5.2016.

Mittauskohta	Syvyys / Rakenne	Koeputki 1			Koeputki 2			KA
		Anturi nro.	t (°C)	RH (%)	Anturi nro.	t (°C)	RH (%)	
MP60	Sisäilma	D10	18,7	70,4				70,4
E183	pinta	26	*	65,2				65,2
KPH	3 cm	16	*	83,7	D1	*	81,3	82,5
3. Krs	7 cm	226	*	91,0	D7	*	89,7	90,4
MP61	Sisäilma	D10	19,1	69,3				69,3
E187	pinta	6	*	70,7				70,7
KPH	3 cm	2	*	88,7	D4	*	87,1	87,9
4. Krs	7 cm	90	*	97,2	D3	*	96,2	96,7

Taulukko 3. Kosteusmittaustaulukko 16.6.2016.

Mittauskohta	Syvyys / Rakenne	Koeputki 1			Koeputki 2			KA
		Anturi nro.	t (°C)	RH (%)	Anturi nro.	t (°C)	RH (%)	
MP60b	Sisäilma	64	22,1	51,3				51,3
E183	pinta	60	*	63,1	67		62,8	63,0
KPH	3 cm	45	*	81,6	63	*	81,7	81,7
3. Krs	7 cm	52	*	89,6	158	*	93,2	91,4
MP61b	Sisäilma	64	21,0	62,5				62,5
E187	pinta	61	*	64,0	65	*	66,9	65,5
KPH	3 cm	179	*	83,3	226	*	86,4	84,9
4. Krs	7 cm	214	*	91,5	68	*	93,1	92,3

Taulukko 4. Kosteusmittaustaulukko 4.7.2016.

Mittauskohta	Syvyys / Rakenne	Koeputki 1			Koeputki 2			KA	Edellinen mittaus
		Anturi nro.	t (°C)	RH (%)	Anturi nro.	t (°C)	RH (%)		
MP60c	Sisäilma	159	18,8	63,2				63,2	51,3
E183	pinta	74	*	58,4				58,4	63,0
KPH	3 cm	70	*	79,3	79	*	79,3	79,3	81,7
3. Krs	7 cm	120	*	89,5	21	*	87,8	88,7	91,4
MP61c	Sisäilma	159	20,8	57,3				57,3	62,5
E187	pinta	119	*	55,6		*		55,6	65,5
KPH	3 cm	166	*	84,8	65	*	85,8	85,3	84,9
4. Krs	7 cm	64	*	92,5	63	*	91,5	92,0	92,3

Taulukko 5. Kosteusmittaustaulukko 25.8.2016.

Mittaushohta	Syvyys / Rakenne	Koeputki 1			Koeputki 2			KA	Edellinen mittaus
		Anturi nro.	t (°C)	RH (%)	Anturi nro.	t (°C)	RH (%)		
MP60d	Sisäilma	37	23,3	65,8				65,8	63,2
E183	pinta	38	*	49,0				49,0	58,4
KPH	3 cm	36	*	74,0				74,0	79,3
3. Krs	7 cm	12	*	86,4				86,4	88,7
MP61d	Sisäilma	37	22,2	71,7				71,7	57,3
E187	pinta	39	*	67,8				67,8	55,6
KPH	3 cm				35	*	75,4	75,4	85,3
4. Krs	7 cm	31	*	83,5	13	*	87,9	85,7	92,0

5.5.2 Mittaustaulukot F224

Taulukko 6. Kosteusmittaustaulukko 9.8.2016.

Mittaushohta	Syvyys / Rakenne	Koeputki 1			Koeputki 2			KA	Edellinen mittaus
		Anturi nro.	t (°C)	RH (%)	Anturi nro.	t (°C)	RH (%)		
MP72	Sisäilma	50	18,8	66,2					
F224	Pinta	72	*	77,8	120	*	77,4	77,6	
KPH	3,0 cm	75	*	93,8	79	*	93,4	93,6	
3. Krs	7,0 cm	74	*	96,8	21	*	96,0	96,4	

Taulukko 7. Kosteusmittaustaulukko 29.9.2016.

Mittaushohta	Syvyys / Rakenne	Koeputki 1			Koeputki 2			KA	Edellinen mittaus
		Anturi nro.	t (°C)	RH (%)	Anturi nro.	t (°C)	RH (%)		
MP72b	Sisäilma	75	20,2	71,4					
F224	pinta	70	*	55,2	214	*	57,6	56,4	
3. Krs / F-Porras	3,0 cm	63	*	83,6	9	*	86,8	85,2	
KPH	7,0 cm	72	*	95,5	73	*	94,9	95,2	

Taulukko 8. Kosteusmittaustaulukko 6.10.2016.

Mittaushohta	Syvyys / Rakenne	Koeputki 1			Koeputki 2			KA	Koeputkien ero
		Anturi nro.	t (°C)	RH (%)	Anturi nro.	t (°C)	RH (%)		
MP72c	Sisäilma	44	18,6	41,9					
F224	pinta	39	*	43,2		*		43,2	
3. Krs / F-Porras	3,0 cm	7	*	79,1	46	*	77,5	78,3	1,6
KPH	7,0 cm	11	*	91,7	54	*	91,0	91,3	0,7

Taulukko 9. Kosteusmittaustaulukko 13.10.2016.

Mittauskohta	Syvyys / Rakenne	Koeputki 1			Koeputki 2			KA	Koeputkien ero
		Anturi nro.	t (°C)	RH (%)	Anturi nro.	t (°C)	RH (%)		
MP72d	Sisäilma	22	25,4	36,1					
F224	pinta	89	*	42,1	114	*	39,7	40,9	2,4
KPH	3,0 cm	123	*	80,6	131	*	78,2	79,4	2,4
3. krs	7,0 cm	124	*	91,4	133	*	93,2	92,3	1,8

Taulukko 10. Kosteusmittaustaulukko 20.10.2016.

Mittauskohta	Syvyys / Rakenne	Koeputki 1			Koeputki 2			KA
		Anturi nro.	t (°C)	RH (%)	Anturi nro.	t (°C)	RH (%)	
MP72e	Sisäilma	127	28,6	20,3				
F224	pinta	129	*	35,1		*		35,1
3. krs/ kph	3 cm	130	*	78,6	128	*	76,1	77,4
	7 cm	131	*	86,9	132	*	87,0	87,0
			*			*		

5.5.3 Mittaustaulukot G294

Taulukko 11. Kosteusmittaustaulukko 21.10.2016.

Mittauskohta	Syvyys / Rakenne	Koeputki 1			Koeputki 2			KA
		Anturi nro.	t (°C)	RH (%)	Anturi nro.	t (°C)	RH (%)	
G294, kph	Sisäilma	24	22,5	30,6				
7. krs	pinta	7	*	58,9		*		58,9
	3 cm	93	*	92,3	11	*	91,8	92,1
	7 cm	131	*	96,1	9	*	95,5	95,8

Taulukko 12. Kosteusmittaustaulukko 27.10.2016

Mittauskohta	Syvyys / Rakenne	Koeputki 1			Koeputki 2			KA
		Anturi nro.	t (°C)	RH (%)	Anturi nro.	t (°C)	RH (%)	
MP139b	Sisäilma	18	28,9	29,1				
G294, kph	pinta	16	*	46,8		*		46,8
7. krs	3 cm	17	*	90,2	96	*	89,5	89,9
	7 cm	14	*	94,0	88	*	94,3	94,2

5.5.4 Ilmasto-olosuhteiden vertailut

Kosteusmittausraporttien perusteella voidaan todentaa, että E183 ja E187 ilmasto-olosuhteet olivat hyvät kuivumisprosessin ajan. Märkätilassa E183 ilman suhteellinen kosteus oli keskimäärin 62 % ja E187 ilman RH oli keskimäärin 65 %. Parhaimmillaan

ilman suhteellinen kosteus on voitu laskea 51 %, joka on todella lähellä haluttua 50 %. Ilmanlämpötilat olivat molemmissa märkätiloissa keksimäärin +21 °C.

F224 märkätilan mittausraporttien perusteella ilmasto-olosuhteet eivät ole olleet hyvät betonin kuivumisen kannalta alkuvaiheessa. Mittaustuloksista jotka mitattiin 13.10.2016, oli ilmasto-olosuhde huoneessa paras mahdollinen, eli ilmanlämpötila yli +20 °C ja ilman suhteellinen kosteus alle 50 %.

Märkätilasta G294 otetun mittausraportin perusteella huoneessa ollaan päästy todella hyvään ilmasto-olosuhteeseen. Ilman suhteellinen kosteus oli huoneessa reilusti alle 50 % ja ilmanlämpötila yli 20°C.

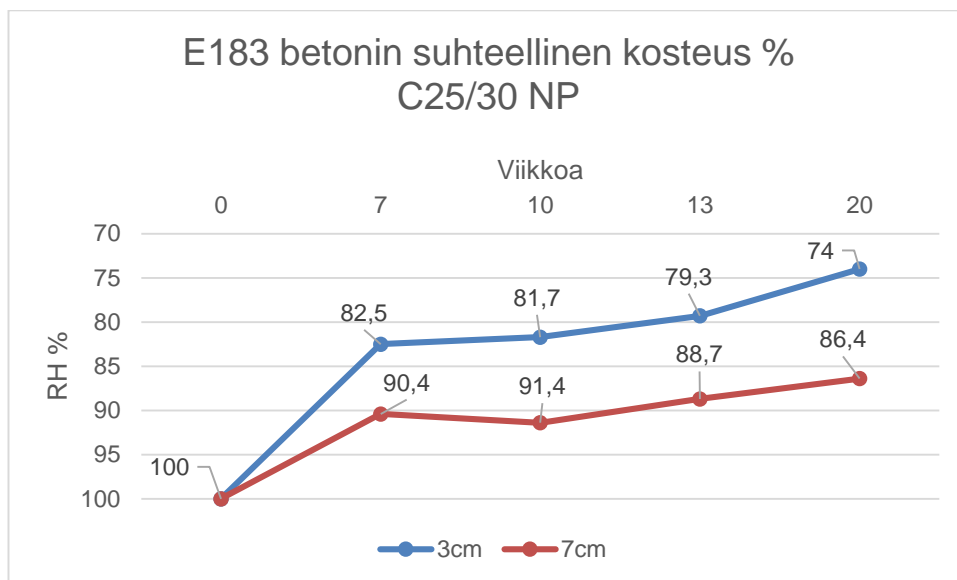
6 Betonin kuivumisen tulokset

6.1 Kuivumisajat työmaalla käytetyillä betonityypeillä

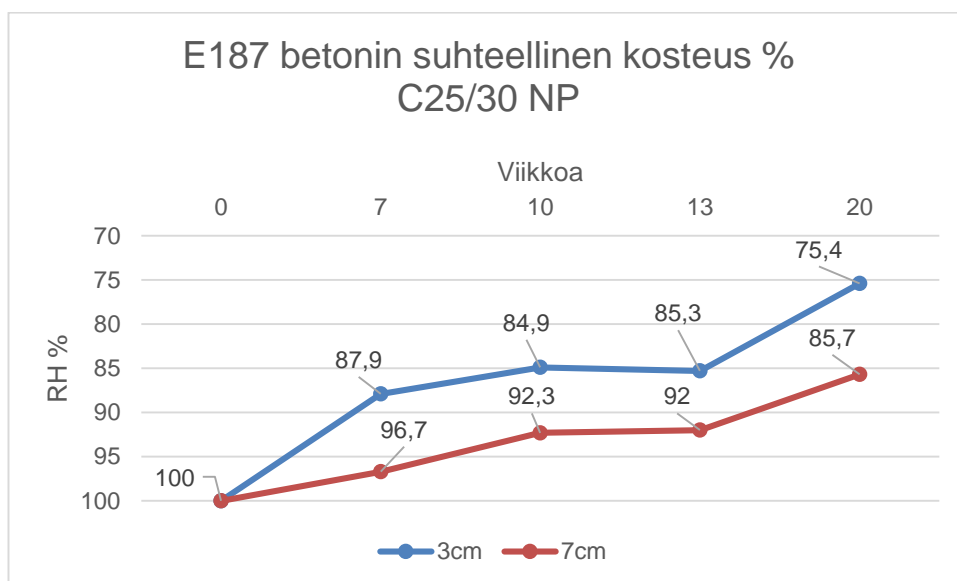
6.1.1 C25/30 NP

Kahden eri mittaustuloksien perusteella C25/30 NP betonilla saavutettiin pinnoituskosteus noin 20 viikon päästä betonivalusta. Huomioitava on, että kuivumista edistävät toimenpiteet aloitettiin 2 viikkoa valupäivästä, jolloin kuivatuskustannukset on otettava huomioon 18 viikolta.

Kaavio 1. E183 märkätilassa tehdyt kosteusmittaukset.



Kaavio 2. E187 märkätilassa tehdyt kosteusmittaukset.

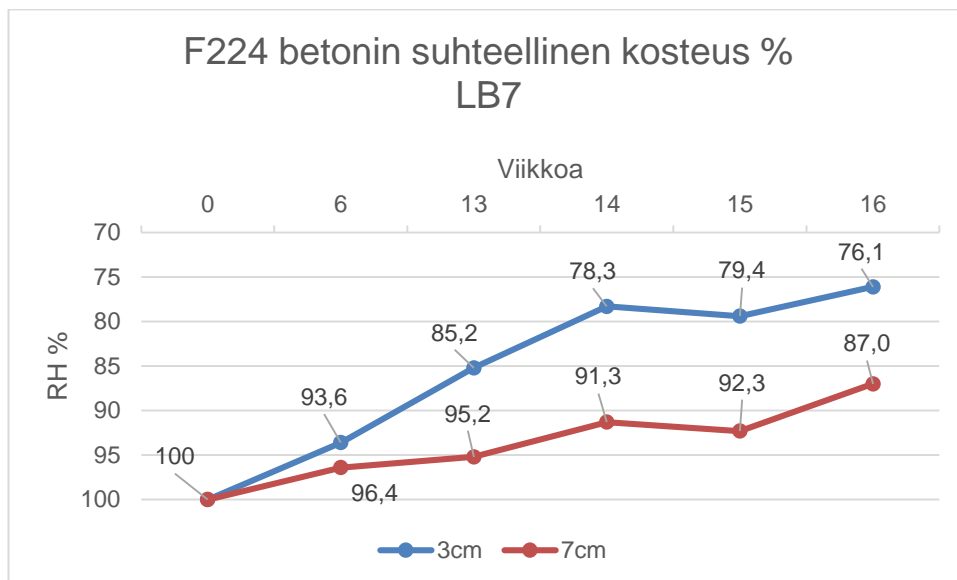


6.1.2 Fescon lattiabetoni LB7

F224 märkätilassa tehtyjen kosteusmittauksien perusteella voidaan todeta, että huone on pinnoitettavissa noin 17 viikkoa valupäivästä. On otettava huomioon, että kyseinen betonivalu suoritettiin silloin kun rakennuksen vaippa ei ollut täysin tiivis. Betonivalun

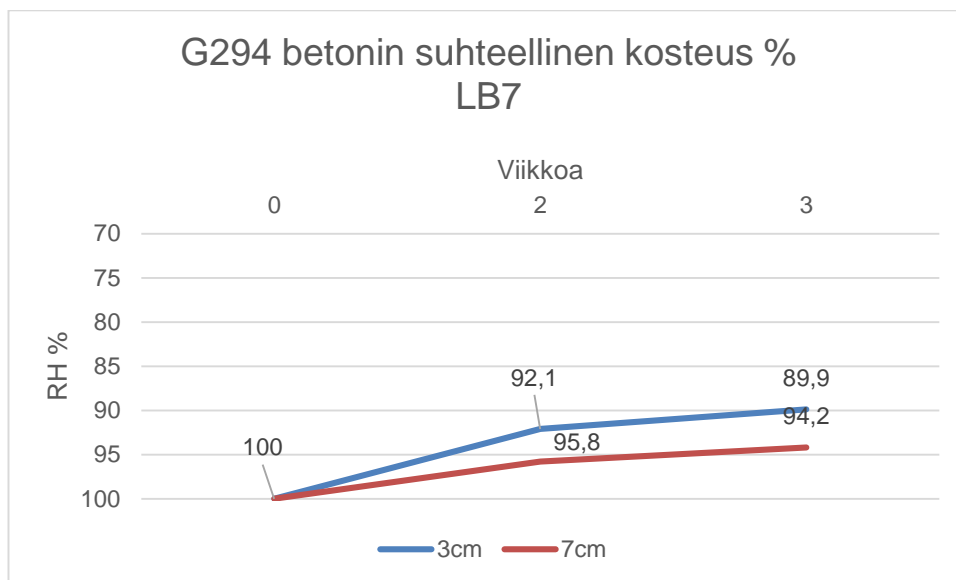
kuivumista edistävät toimenpiteet aloitettiin 7 viikkoa valupäivästä, jolloin kuivatuskustannukset on otettava huomioon 10 viikolta.

Kaavio 3. F224 märkätilasta tehdyt kosteusmittaukset.



Märkätilasta G294 tehtyjen kosteusmittauksien perusteella kuivuminen on alkanut hyvin jo kolmen viikon aikana. Betonin pinnan RH on lähelle 50%, joka vuoksi betonilla on hyvät mahdollisuudet nopeaan kuivumiseen. Märkätilassa on alusta asti käytetty kuivumista edistäviä toimenpiteitä. Jos oletetaan että kuivumisen olevan sama jatkossa, eli 7cm syvyydessä 1,5 RH % viikossa ja 3cm syvyydessä 2 RH % viikossa, on betoni pinnoituskelpoinen 11 viikon jälkeen betonivalusta. Kuivatuskustannukset on otettava huomioon 11 viikolta.

Kaavio 4. G294 märkätilasta tehdyt kosteusmittaukset.



6.2 Työssä havaitut betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät

Tässä tutkielmassa saatujen tuloksien ja tarkkailujen perusteella betonin kuivumiseen vaikuttaa olennaisesti betonin kuivumisolosuhteet. Märkätilan eristäminen muusta tilasta muoviseinän avulla sekä ilmankuivaimien ja ilmanlämpötilaa kuumentavilla laitteilla saatiin parhaimmat kuivumisnopeudet. Pintabetonin altistuminen kosteudella kuivumisprosessin aika vaikutti betonin kuivumiseen olennaisesti. Kosteutta voi päästä pintarakenteeseen mm. muista ympäröivistä rakenteista.

Tutkielmassa havaittiin, että erittäin nopeasti kuivuvalla betonilla ei päästy hyvään kuivumisnopeuteen, jos ei käytetty kuivumista edistäviä menetelmiä. Ilmankosteus sekä ilmanlämpötila olivat hyvin tärkeitä asioita betonin kuivumisen kannalta.

7 Johtopäätökset

7.1 Betonilaadun valinta

Betonin valinnalla oli suuri merkitys aikatauluun ja kustannuksiin. Fescon LB7 oli huomattavasti korkeampi hinta kuin C25/30 NP betonilla, mutta Fescon LB7:lla pystyttiin

saavuttamaan nopeampi kuivumisnopeus kuin C25/30 NP betonilla. Tällä betonien kuivatusajan erotuksella saatiin säästöä kuivatuskustannuksissa, sekä päästiin hyvään aikataululliseen säästöön. Kohteissa jossa on sisätyövaihe kriittinen aikataulullisesti tai aikataulullista pelivaraa ei ole sisätyövaiheeseen, tulee harkita Fescon LB7 käyttöä. Betonin valinnassa on otettava huomioon, että LB7 valinta ei ole kannattavaa, jos kuivumisolosuhteet ovat puutteelliset.

7.2 Valuajankohta ja valuolosuhteet

Yksi suurimmista puutteista voi olla betonivalua suorittaessa valuajankohta ja olosuhteet. Useimmiten betonivaluja aletaan tehdä rakennuksen sisällä, vaikka rakennuksen vaippa ei ole ummessa ja vuodenaika on kuivumisen osalta epäedullinen. Huonot olosuhteet hidastavat huomattavasti betonin kuivumista, ja näin ollen ei tulisi tehdä betonointitöitä ennen kuin olosuhteet sen sallivat. Työmaalla tulisi odottaa, että vesikatto on täysin vedenpitävä ja julkisivut ovat täysin ummessa. Oikealla valuajankohdalla säästetään useita viikkoja betoninkuivumisessa. Jos kuitenkin halutaan aloittaa valutyöt ennen kuin rakennuksen lopullinen vaippa on tiivis, pystytään säästymään betonin kastumiselta silloin, jos rakennus on kokonaan sääsuojan alla.

7.3 Kuivatusmenetelmät

Ilman kuivatus sekä lämmittäminen ovat lähes välttämätöntä, kun halutaan päästä parhaaseen ilmasto olosuhteeseen. Kuivatusmenetelmänä tulee käyttää ilmankuivaimia ja lämmittäjiä, sekä kuivatettavan huoneen tulee olla eristetty muusta tilasta esimerkiksi muovilla. Betonin kuivumista edistävät toimenpiteet tulee aloittaa niin pian kuin mahdollista, jotta päästään parhaaseen kuivumisnopeuteen. Kuivatuslaitteistosta tulee pitää huolta, että ne ovat koko ajan toiminnassa. Katkokset kuivatuksessa voivat hidastaa betonin kuivumista olennaisesti.

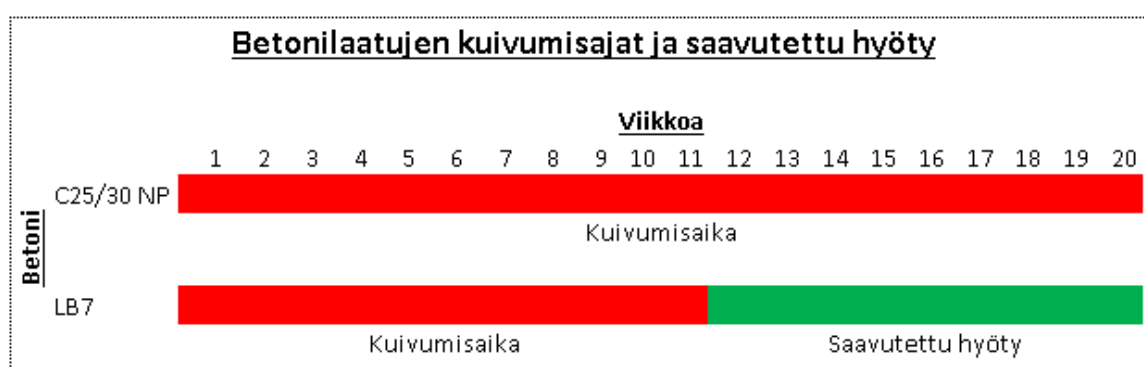
7.4 Betonin vaihdon hyödyt ja haitat tutkimuskohteessa

Betonin vaihdosta oli hyötyä kyseisellä asuinrakennustyömaalla silloin, kun olosuhteet betonin kuivumisen kannalta olivat parhaat. Betonilaadun vaihdossa pystyttiin säästä-

mään 9 viikkoa kuivumisajassa, silloin jos käytettiin kuivumista edistäviä toimenpiteitä. Aikataulu säästöstä seurasi myös kustannuksellisia säästöjä kuivatuskustannuksissa.

Silloin kun olosuhteet eivät olleet kuivumisen kannalta parhaat, haittana oli se, että betonin kuivuminen oli todella hidasta. Havaittiin että tällöin LB7 kuivumisessa ei päästy lähellekään hyvään lopputulokseen. Myös haittana kyseisessä LB7 betonissa on se, jos rakenne pääsee kastumaan kuivumisprosessin aikana, ei tiedetä miten paljon se vaikuttaa betonin kuivumiseen.

Kaavio 5. Betonilaatujen kuivumisaikojen vertailu ja saavutettu ajallinen hyöty.



7.5 LB7 käyttäytyminen optimiolosuhteissa

LB7 betoni ei toiminut optimiolosuhteissa niin kuin tuotevalmistaja oli ilmoittanut. Heidän tuoteselosteessa on ilmoitettu, että kyseinen betonilaatu on vedeneristettävissä 3-7 vuorokauden kuluessa, kun taas tutkimustyökohteessa valettujen rakenteiden vedeneristettävyyden ajankohta on parhaimmillaan 11 viikon jälkeen.

Tuotevalmistaja oli saanut 3-7 vuorokauden kuivumisajan laboratorio olosuhteissa jossa ilmanlämpötila oli +20°C ja ilmankosteus 50 RH %. Työmaalla tehdyn optimiolosuhteen ilmanlämpötila oli yli +20°C ja ilmankosteus alle 50 RH %, joka on selvästi parempi kuin laboratorio olosuhde.

Kuivumisajoissa laboratorio-olosuhteissa ja työmaaolosuhteissa optimiolosuhteissa syntynyt ero oli kiinni rakennepaksuudesta ja kuivatusmenetelmästä. Laboratoriossa otetut tulokset tehtiin 100 mm paksusta koekappaleesta, jota lämmitettiin muiden kuivumista edistävien menetelmien lisäksi. Tutkimustyömaalla rakenteen paksuus keski-

määrin oli 170 mm. Tutkimustyömaan betonia ei lämmitetty kuivumista edistävien menetelmien lisäksi. Myös työmaalla valettu pintabetoni on voinut altistua kosteudelle kuivumisprosessin aikana. Kosteutta on voinut päästä pintabetoniin esim. muusta rakenteesta.


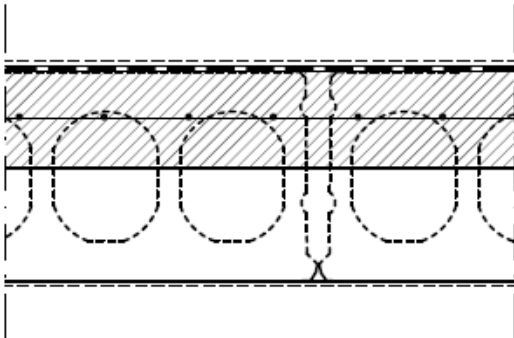

8 Yhteenveto

Opinnäytetyö oli mielenkiintoinen projekti. Tekijällä oli aikaisempaa tietämystä betonointitöistä sekä sen kuivumisesta. Opinnäytetyön tiimoilta päästiin seuraamaan betonin kuivumista tarkasti sekä perehtymään enemmän kuivumista edistäviin tekijöihin. Opinnäytetyön tekeminen kyseisestä aiheesta oli sen tilaajalle tarpeellinen, koska yrityksessä on havainnut, että rakennuskohteissa olevat pinnoitettavat betonirakenteet ottavat enemmän aikaa kuivumiseen mitä on suunniteltu. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää LB7 käytön kannattavuutta taloudellisesti ja aikataulullisesti. Kun betonin kuivumisessa havaittiin puutteita, ratkaistiin, miten rakennuskohteissa valettavien märkätilojen betonilaattojen kuivatuksessa päästiin nopeammin parempiin tuloksiin. Tämän opinnäytetyön pohjalta laaditaan yrityksen käyttöön laskelma, mikä oli taloudellinen ja aikataulullinen ero LB7 ja aiemmin käytetyllä betonilaadulla. Työn pohjalta laaditaan myös ohje siitä, mitä betonin kuivatustöissä valvojan tulee huomioida, jotta päästäisiin parhaimpaan aikataululliseen tulokseen. Ohje toimii valvojan yhtenä työkaluna märkätilojen betonivalutöiden jälkeisenä aikana.


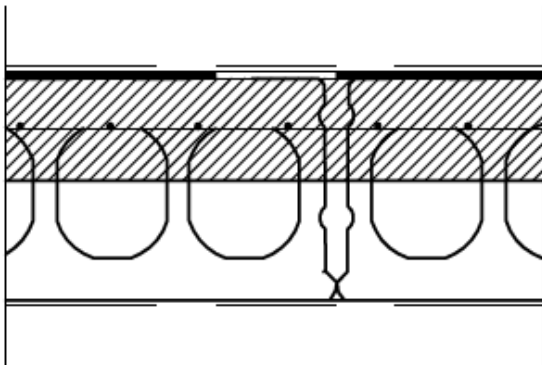
Lähteet

- 1 Haahtela, Tuuli. Haahtela konserniesittely. Powerpoint-esitys. Luettu 21.9.2016.
- 2 Suomen Betoniyhdistys ry. 2004. Betonitekniikan oppikirja BY 201. Vantaa: Multiprint Oy.
- 3 Tarja Merikallio. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Jyväskylä: Hummerus Kirjapaino Oy.
- 4 Ebeco. Verkkodokumentti. <http://www.ebeco.fi/betonin-kovetus/bhs>. Luettu 21.9.2016.
- 5 Strong Finland Oy. Verkkodokumentti. <http://kuivain.fi/kuivaimet/adsorptiokuivain/>. Luettu 21.9.2016.
- 6 Humicentre. Verkkodokumentti. <http://humicenter.fi/ryomintatilakuivauslaitteet/>. Luettu 21.9.2016.
- 7 Ramirent. Verkkodokumentti. http://tuotteet.ramirent.fi/sites/tuotteet.ramirent/files/product_attachments/K%C3%A4ytt%C3%B6ohje%20Kosteudenerotin%20K2.pdf. Luettu 22.9.2016.
- 8 Stark. Verkkodokumentti. <http://www.stark-suomi.fi/fi/l%C3%A4mp%C3%B6puhallin-bright-3-kw-230-v-johdolla>. Luettu 22.9.2016.
- 9 Suomen Betonitieto Oy. 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Lahti: Esa Print Oy.
- 10 Biltema Suomi Oy. Verkkodokumentti. <http://www.biltema.fi/fi/Tyokalut/Mittausvalineet/Mittauslaitteet/Kosteusmittari-2000034777/>. Luettu 22.9.2016.
- 11 Teknocalor. Verkkodokumentti. <http://www.teknocalor.fi/fi/mittauslaitteet/tuotteet/lamputila-ja-kosteus/rakennekosteus/doser-esko-pintakosteusmittari>. Luettu 22.9.2016.
- 12 Fescon LB7. Tuoteseloste. Fescon Oy

Välipohja VP3

KVARTERET VICTORIA OSAPROJEKTI 2		VÄLIPOHJA MÄRKÄTILAT		1:10
		Pääty		VP 3
				
RAKENNEKERROKSET: 20 mm LATTIANPÄÄLLYSTE JA PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTEEN MUKAAN				
VEDENERISTYS, SERTIFIOITU TELATTAVA VEDENERISTYSJÄRJESTELMÄ, POHJUSTUS, KULMAT JA LÄPIVIENIT VALMISTAJAN OHJEEN MUKAAN				
<div></div> 155-185 mm TASAUS / KALLISTUSBETONI, BY 45 / BLY 7 : LUOKKA A-4-30, POLYMEERIKUITU, B500K, PINTAKÄSITTELY PINTARAKENTEEN VAATIMUSTEN MUKAAN, RAUDOITUS, KESKEINEN VERKKO # 8-200				
370/200 mm KANTAVA RAKENNE, ONTELOLAATTA RAKENNESUUNNITELMAN MUKAAN, KOLOLAATTA VIEMÄRÖINNIN JA/ TAI LATTIANLÄMMITYKSEN NIIN VAATIESSA				
OHJEET: KATTOPINTA JA PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTEEN MUKAAN				
OMINAISUUDET: PALOLUOKKA EI 60 ILMAÄÄNENERISTÄVYYS: R _w ≥55 dB				

Välipohja VP9

KVARTERET VICTORIA OSAPROJEKTI 1	VÄLIPOHJA PAIKALLARAKENNETUT KPH KOLOLAATTA, MÄRKÄTILAT D JA E PORRAS		1:10
	Päiväys 26.3.2014		VP 9
	Q	17.11.2015	
			
Rakennekerrokset:	20 mm	Lattianpäällyste ja pintakäsittely huoneselosteen mukaan Vedeneristys, sertifioitu telattava vedeneristysjärjestelmä, pohjustus, kulmat ja läpiviennit valmistajan ohjeen mukaan	
	140-170 mm	Tasaus / kallistusbetoni, by 45 / BLY 7 : luokka A-4-30, polymeerikuitu, B500K pintakäsittely pintarakenteen vaatimusten mukaan	
	370/200 mm	Kantava rakenne, ontelolaatta rakennesuunnitelman mukaan, kololaatta viemäröinnin ja/ tai lattianlämmityksen niin vaatiessa Kattopinta ja pintakäsittely huoneselosteen mukaan	
Ohjeet:			
Ominaisuudet:			
		Ilmaääneneristysluku R'w = 55 dB. Paloluokka REI 60	